Iranian Journal of Pulses Research
Vol. 15, No. 2, December 2024, pp. 233-247
Original Research

نشریه پژوهش‌های حبوبات ایران
جلد ۱۵، شمارهٔ ۲، نیمهٔ دوم ۱٤۰۳، ص. ۲۳۳-۲٤۷
نوع مقاله: پژوهشی

Homepage: https://ijpr.um.ac.ir

https://doi.org/10.22067/ijpr.2024.85401.1074

The Effect of Sulphurous Humic Acid and Plant Density on the Growth and Yield of Red Beans (*Phaseolus vulgaris* L.) Cultivars

Zeinab Jabbari Badkhor[1*], Alireza Dadkhah[2], Reza Rezvani[3]

Received: 16-11-2023
Revised: 21-02-2024
Accepted: 16-03-2024
Available Online: 03-11-2024

Cite this article:
Jabbari Badkhor, Z., Dadkhah, A., & Rezvani, R. (2024). Investigation of the effect of sulphurous humic acid and plant density on the growth and yield of red beans (*Phaseolus vulgaris* L.) cultivar. *Iranian Journal of Pulses Research*, *15*(1), 233-247. (In Persian with English Abstract). https://doi.org/10.22067/ijpr.2024.85401.1074

Introduction
Pulses, including red beans, are a significant source of protein in human nutrition. Increasing yield per unit area is one of the most important factors for increasing crop production. Todays the increase in crop yield occurred by the excessive use of chemical fertilizers, including nitrogen fertilizers, which caused environmental hazards and consequently human health. Humic acid is a natural organic polymer compound that results from the decay of soil organic matter, peat, lignin, etc., which can be used to increase the product and its quality. One of the important benefits of using humic acid is the ability to chelate various nutrients such as potassium and magnesium and other elements to overcome the lack of nutrients. Humic acid also creates more space for water to penetrate through physical modification and improved soil granulation. Plant density is another important agronomic factor that manipulates micro- environment and affects growth, development and yield of plants. Within certain limits, increase of plant population density declines the growth and yield per plant but the reverse occurs for yield per unit area. The optimum plant density to attain highest yield may vary with the genotype and agronomic factor. Therefore, the purpose of this research was to investigate the effect of sulphurous humic acid and plant density on growth and yield of red beans (*Phaseolus vulgaris* L.) cultivars (Ofogh, Dadfar and Yaghoot).

Materials and Methods
The experiment was conducted as a factorial based on a randomized complete blocks design with three replications in the Bojnord city located in north east of Iran during the year 2022. The experimental factors were: plant density at three levels (18, 25, and 40 plants per m^2, sulfur-containing humic acid (0 (no application humic acid) 4 and 6 liters per hectare) and red bean (*Phaseolus vulgaris* L.) cultivars (Ofogh, Dadfar and Yaghoot). Humic acid treatments were applied in the stages of two to four leaves, before flowering and after pod formation, depending on the level of treatment.

Results and Discussion
The results showed that Yaghoot cultivar had the highest plant height (71 cm) while, Dadfar had the lowest plant height (40 cm) at all three plant densities. Yaghoot cultivar also had the highest seed number per pod (4.1) and seed yield (4450 $kg.ha^{-1}$) with application of 6L per hectare humic acid while, Dadfar cultivar had the lowest seed per pot (2) and seed yield (766 $kg.hac^{-1}$). Results showed the best cultivar was Yaghoot and then Ofogh due to growth traits. The best plant density was 40 plants per m^2 and among the humic acid levels, application of 6 lit per hectare had the best results. In the absence of fertilization, the amount of total chlorophyll of cultivars Yaghoot and Ofogh was not affected by the density, However, increasing of humic acid significantly increased the amount of total chlorophyll in all three cultivars and the highest amount of chlorophyll obtained at the highest level of humic acid and plant densities 18 and 25 for Yaghoot and the density of 18 plants for Dadfar.

1 and 2- M.Sc. Graduated and Professor, Plant Production and Genetic Department, Shirvan Faculty of Agriculture, University of Bojnord, Bojnord, Iran, respectively.
3- Ph.D. Student, Department of Agrotechnology, Faculty of Agriculture, Ferdowsi University of Mashhad, Mashhad, Iran.
* Corresponding Author: zeinabjabbari@yahoo.com

Conclusions

In general, it was concluded that humic acid and plant density have been able to have a positive effect on most of the growth traits and photosynthetic pigments of red bean plant. The best cultivar was Yaghoot variety and then Ofogh variety and the best plant density was 40 plants per square meter. Among the humic acid levels, the consumption of 6 liters per hectare had the best result. By observing the appropriate level of density, variety and humic acid, we will be able to harvest the maximum yield of red bean (*Phaseolus vulgaris* L.) cultivars (Ofogh, Dadfar and Yaghoot) in Bojnord region.

Keywords: Biological yield, Chlorophyll, Harvest index, Legumes, Seed yield

Iranian Journal of Pulses Research
Vol. 15, No. 2, December 2024, pp. 233-247
Original Research

Homepage: https://ijpr.um.ac.ir

نشریه پژوهش‌های حبوبات ایران
جلد ۱۵، شمارهٔ ۲، نیمهٔ دوم ۱۴۰۳، ص. ۲۴۷-۲۳۳
نوع مقاله: پژوهشی

https://doi.org/10.22067/ijpr.2024.85401.1074

بررسی تأثیر اسید هیومیک گوگرددار و تراکم کاشت بر رشد و عملکرد ارقام لوبیای قرمز (*Phaseolus vulgaris* L.)

زینب جباری بادخور[1]*، علیرضا دادخواه[2]، رضا رضوانی[3]

تاریخ دریافت: ۱۴۰۲/۰۸/۲۵
تاریخ پذیرش: ۱۴۰۲/۱۲/۲۶

چکیده

ارقام مختلف گیاهان زراعی از نظر واکنش به عوامل محیطی با یکدیگر تفاوت دارند. تعیین تراکم مناسب و بهبود وضعیت فیزیولوژیک گیاه برای استفاده مطلوب از نهاده‌ها و منابع، نقش مؤثری در افزایش عملکرد گیاهان زراعی دارد. از طرفی، استفاده بی‌رویه و غیر اصولی از کودهای شیمیایی جهت افزایش عملکرد گیاهان زراعی، امنیت غذایی و به تبع آن سلامت انسان‌ها را به خطر انداخته است. بنابراین، به نظر می‌رسد که کاشت ارقام مناسب با تراکم مطلوب برای هر منطقه و همچنین، استفاده از نهاده‌های طبیعی و اکولوژیک، ضمن افزایش عملکرد محصولات زراعی، پایداری تولید و سلامت محیط زیست را در درازمدت حفظ می‌نماید. بر این اساس، پژوهشی در سال زراعی ۱۴۰۰- ۱۳۹۹ به‌صورت آزمایش فاکتوریل در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار در شهرستان بجنورد اجرا گردید. فاکتورهای آزمایش شامل: تراکم گیاهی در سه سطح ۱۸، ۲۵ و ۴۰ بوته در مترمربع، اسید هیومیک گوگرددار در سه سطح صفر (بدون اسید هیومیک)، چهار و شش لیتر در هکتار و ارقام لوبیا قرمز (افق، دادفر و یاقوت) بود. نتایج نشان داد که اثر تراکم بوته بر ارتفاع گیاه معنی‌دار شد و با افزایش تراکم، ارتفاع بوته نیز افزایش یافت. همچنین، بیشترین ارتفاع بوته مربوط به رقم یاقوت به‌میزان ۷۱ سانتی‌متر و کمترین ارتفاع بوته (۴۰ سانتی‌متر) مربوط به رقم دادفر بود. رقم‌های مورد بررسی از نظر تعداد دانه در غلاف با یکدیگر تفاوت معنی‌داری نشان دادند و رقم یاقوت بالاترین تعداد دانه در غلاف (۴/۱ دانه در غلاف) را داشت. نتایج آزمایش نشان داد که اثر متقابل رقم و اسید هیومیک بر عملکرد دانه معنی‌دار شد، به‌طوری‌که بیشترین میزان عملکرد دانه مربوط به ارقام یاقوت (۴۴۵۰ کیلوگرم در هکتار) و افق (۴۱۶۰ کیلوگرم در هکتار) با اسید هیومیک شش لیتر در هکتار بود. در تیمار اسید هیومیک صفر، میزان کلروفیل کل رقم‌های یاقوت و افق، تحت تأثیر تراکم قرار نگرفتند، ولی با افزایش میزان اسید هیومیک، میزان کلروفیل کل در هر سه رقم افزایش معنی‌داری داشت. به‌طور کلی، می‌توان نتیجه‌گیری کرد که رقم یاقوت به‌دلیل خصوصیات رشدی و میزان عملکرد بالای دانه، بهترین رقم می‌باشد. همچنین، در بین تراکم‌های مورد بررسی، تراکم ۴۰ بوته در مترمربع، و در بین سطوح اسید هیومیک، مصرف شش لیتر در هکتار مناسب‌ترین بودند.

واژه‌های کلیدی: حبوبات، شاخص برداشت، عملکرد بیولوژیک، عملکرد دانه، کلروفیل

مقدمه

پس از غلات، حبوبات دومین منبع مهم غذایی بشر است. این گیاهان متعلق به خانواده بقولات (Fabaceae) و زیرخانواده پروانه‌آسا (*Papilionoideae*) می‌باشند. حبوبات، سرشار از پروتئین و دیگر ترکیبات ضروری، از مهم‌ترین منابع خوراکی هستند و با داشتن میزان مناسبی از پروتئین، می‌توانند جایگزین پروتئین جانوری در رژیم غذایی انسان و به‌ویژه اقشار کم درآمد شوند (Majnoun Hosseini, 2008). در ایران، حبوبات پس از گندم و برنج از اهمیت ویژه‌ای برخوردار هستند (Majnoun Hosseini, 2008). لوبیا با نام علمی *Phaseolus vulgaris* L. یکی از حبوبات مهم است که به‌صورت مستقیم مورد استفاده انسان قرار می‌گیرد و حدود ۵۰ درصد از حبوبات جهان را شامل می‌شود (Lynch et al., 2001; Majnoun Hosseini, 2014). لوبیا گیاهی گرمادوست است و روزهای گرم و شب‌های خنک مناسب رشد آن می‌باشد (Kumar et al., 2022). سطح برداشت کل حبوبات در ایران برای سال زراعی

۱ و ۲- به‌ترتیب فارغ التحصیل کارشناسی ارشد و استاد، گروه مهندسی تولید و ژنتیک گیاهی، دانشکده کشاورزی شیروان، دانشگاه بجنورد، بجنورد، ایران.
۳- دانشجوی دکتری، گروه اگروتکنولوژی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه فردوسی مشهد، مشهد، ایران.
(*- نویسنده مسئول: zeinabjabbari@yahoo.com)

۱۳۹۹- ۱۳۹۸ حدود ۶۱۳۱۰۰ هکتار بوده است. از این مقدار، نخود ۴۱۲ هزار هکتار، لوبیا ۱۰۱ هزار هکتار، عدس ۷۵ هزار هکتار و سایر حبوبات ۲۴ هزار هکتار از کل سطح برداشت حبوبات را به خود اختصاص داده‌اند. سطح زیر کشت لوبیا در خراسان شمالی ۱۰۹۳ هکتار می‌باشد (Ahmadi Nouraldinvand et al., 2019). در سال‌های اخیر، افزایش عملکرد ناشی از افزایش مصرف بی‌رویه کودهای شیمیایی، علاوه‌بر مخاطرات زیست محیطی، سلامت محصولات غذایی و به تبع آن سلامت انسان‌ها را به خطر انداخته است. اصولاً مصرف ۱۰۰ تا ۱۵۰ کیلوگرم کود اوره و ۱۵۰ کیلوگرم در هکتار کود فسفات برای زراعت لوبیا توصیه می‌شود (Majnoun Hosseini, 2014). به نظر می‌رسد که با استفاده از نهاده‌های طبیعی و اکولوژیک، ضمن افزایش عملکرد محصولات زراعی، پایداری تولید و سلامت محیط زیست را می‌توان در درازمدت حفظ کرد. استفاده بی‌رویه از کودهای شیمیایی و عدم استفاده از کودهای آلی طی سالیان اخیر، عامل کاهش چشمگیر میزان مواد آلی خاک‌های کشور و ایجاد مشکلات زیست محیطی از جمله تخریب فیزیکی خاک و عدم توازن عناصر غذایی شده است (Nakhzari Moghaddam et al., 2017). استفاده از کودهای طبیعی مانند اسید هیومیک بدون اثرات مخرب زیست محیطی، جهت بالا بردن عملکرد و میزان زیست‌توده ریشه گیاهان به‌خصوص در شرایط متغیر محیطی می‌تواند مؤثر باشد. لذا، از اسید هیومیک به‌عنوان کود آلی دوست‌دار طبیعت نام برده می‌شود (Jahan et al., 2012). یکی از عوامل مهم در اثربخشی کود، کاربرد مقدار یا غلظت بهینه است. از این رو، تعیین مناسب‌ترین غلظت کاربرد اسید هیومیک برای گیاه لوبیا دارای اهمیت است. مواد هیومیکی شامل مخلوطی از ترکیبات آلی مختلفی است که از بقایای گیاهان و حیوانات حاصل می‌شود. این ترکیبات، خصوصیات فیزیکی و شیمیایی و حاصل‌خیزی خاک را تحت تأثیر قرار داده و اثر مستقیمی بر رشد گیاه و تولید محصولات کشاورزی دارند. اسید هیومیک در فعال کردن ریزجانداران موجود در خاک، از اهمیت بسیاری برخوردار است. از مزایای مهم اسید هیومیک می‌توان به کلات‌کنندگی عناصر غذایی مختلف مانند سدیم، پتاسیم، منیزیم، روی، کلسیم، آهن و مس اشاره کرد که سبب افزایش طول و وزن ریشه و آغازش ریشه‌های جانبی می‌شود. اسید هیومیک باعث بهبود ساختار خاک، کمک به ریشه‌زایی بهتر، نگهداری بیشتر آب در خاک، کمک به رشد سریع باکتری‌های مفید در خاک و انحلال و آزادسازی عناصر ماکرو و میکرو و در نتیجه، کاهش نیاز به کودهای شیمیایی و افزایش مقاومت به شوری و کم آبی و همچنین، کاهش سمیّت کودها می‌شود (Nakhyeinejad & Moosavi, 2015). بررسی‌ها نشان داده است که محلول‌پاشی اسید هیومیک در شرایط تنش خشکی در لوبیا توانست تعداد غلاف در بوته، تعداد دانه در بوته و وزن دانه در بوته را به‌طور معنی‌داری افزایش دهد (Beheshti et al., 2017). افزایش معنی‌دار تعداد غلاف در بوته، تعداد دانه، عملکرد دانه و شاخص برداشت نخود نیز در آزمایشی مشابه گزارش شد (Haghparast et al., 2012). در مطالعه‌ای دیگر، محققان نشان دادند که محلول‌پاشی با اسید هیومیک، سبب افزایش پروتئین و سرعت جذب مواد غذایی در گیاه لوبیا شده و در نهایت، عملکرد زیست‌توده افزایش می‌یابد (Mozafari et al., 2016). نتایج پژوهشی بر روی گیاه لوبیا نشان داد که کاربرد اسید هیومیک به‌میزان شش لیتر در هکتار، بالاترین عملکرد دانه را در پی داشت (Abdzad Gohari & Sadeghipour, 2019). یکی از پیش‌شرط‌های لازم برای دستیابی به عملکرد بالا، تأمین شرایط مطلوب جهت استفاده از تابش خورشیدی به‌منظور تولید مواد فتوسنتزی در بالاترین حد کارایی آن است (Beheshti et al., 2017). دستیابی به این هدف با تغییر تراکم بوته و توزیع بوته در واحد سطح زمین میسر است (Ganjali et al., 2000). تراکم بوته از جمله مهم‌ترین عواملی است که می‌تواند بر خصوصیات مورفولوژیک و فیزیولوژیک گیاهان زراعی به‌طور مستقیم و غیرمستقیم تأثیرگذار باشد. برخی محققان در بررسی اثر تراکم بوته بر عملکرد و اجزای عملکرد دانه لاین‌های جدید لوبیا قرمز گزارش کردند که وزن ۱۰۰ دانه، ارتفاع بوته و تعداد دانه در غلاف تحت تأثیر تراکم بوته قرار نگرفت. در حالی‌که تعداد غلاف در بوته در اثر افزایش تراکم بوته کاهش یافت، ولی با افزایش تراکم تا ۴۴ بوته در مترمربع، عملکرد دانه به ۳۳۰۰ کیلوگرم در هکتار افزایش یافت (Salehi et al., 2012). بررسی محققان نشان داده است که اثر تراکم و اسید هیومیک اکثر صفات رشدی گیاه نخود را به‌طور معنی‌داری افزایش داد. آن‌ها گزارش کردند که افزایش تراکم تا ۴۰ بوته در مترمربع اجزای عملکرد نخود را کاهش، ولی عملکرد دانه را افزایش داد. همچنین مصرف اسید بر تمامی صفات رشدی گیاه نخود تأثیر مثبت داشت (Nakhzari Moghaddam, et al., 2017).

گیاهان برای تطبیق خود با شرایط جغرافیایی و اقلیمی مختلف، فعالیت‌های حیاتی‌شان را تنظیم می‌کنند. ارقام مختلف مانند گونه‌های مختلف به شرایط اقلیمی معینی سازگار هستند. بنابراین، در هر منطقه با شرایط اقلیمی خاص، انتخاب رقم مناسب همراه با تراکم کاشت مطلوب و مصرف بهینه کود می‌تواند به حداکثر استفاده از منابع محیطی از جمله نور، آب و عناصر غذایی منجر گردد که در نهایت، عملکرد بیشتر گیاهان زراعی را به همراه دارد.

با توجه به موارد فوق، یافتن راهکارهایی که بتواند امکان بهره‌برداری یا راندمان بالا از منابع را فراهم نماید، می‌تواند باعث ایجاد تحول قابل ملاحظه‌ای در تولید محصولات کشاورزی گردد. بنابر گزارش‌های متعدد مبنی بر تأثیرات مفید اسید هیومیک گوگرددار بر خصوصیات کمّی و کیفی گیاهان زراعی و همچنین، اهمیت تولید حبوبات مخصوصاً تولید لوبیا و ناکافی بودن مطالعات انجام شده در منطقه، اجرای این پروژه می تواند حائز اهمیت باشد. لذا هدف از اجرای این مطالعه، بررسی اثرات سطوح اسید هیومیک گوگردار و تراکم کاشت بر رشد و عملکرد ارقام لوبیا قرمز بود تا با استفاده مناسب از نهاده شیمیایی و آلی و همچنین تراکم کاشت مناسب، بتوان در جهت تولید پایدار و افزایش کیفیت و کمیت لوبیا قرمز گام برداشت.

مواد و روش‌ها

این تحقیق به‌منظور بررسی تأثیر اسید هیومیک گوگردار و تراکم کاشت بر عملکرد و اجزای عملکرد ارقام لوبیای قرمز در مزرعه‌ای واقع در شهرستان بجنورد - استان خراسان شمالی با مختصات طول جغرافیایی ۵۷ درجه و ۲۰ دقیقه شرقی و عرض جغرافیایی ۳۷ درجه و ۲۸ دقیقه شمالی و با ارتفاع ۱۰۷۰ متر از سطح دریا، در سال زراعی ۱۴۰۰- ۱۳۹۹ به‌صورت آزمایش فاکتوریل در قالب طرح پایه بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار اجرا گردید. قبل از اجرای طرح، از محل کاشت، پنج نمونه خاک از نقاط مختلف زمین از عمق صفر تا ۳۰ سانتی متری تهیه شد که پس از ادغام نمونه‌های مربوط و انتقال به آزمایشگاه خاکشناسی، ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک محل آزمایش تعیین گردید. همچنین آب منطقه مورد آزمایش قرار گرفت (جدول ۱).

جدول ۱- مشخصات خاک و آب منطقه قبل از اجرای آزمایش

Table 1- Soil and water characteristics of the area before the test

خاک Soil									
بافت Texture	رس Clay (%)	سیلت Silt (%)	شن Sand (%)	پتاسیم K (ppm)	فسفر P (ppm)	نیتروژن N (%)	کربن آلی Organic C (%)	هدایت الکتریکی EC ($mS.cm^{-1}$)	اسیدیته pH
لومی Loam	26	50	24	225	3.60	0.056	0.757	1.26	7.87

آب Water					
کلیسم + منیزیم Ca + Mg ($meq.l^{-1}$)	سدیم Cl ($meq.l^{-1}$)	بی کربنات HCO_3 ($meq.l^{-1}$)	هدایت الکتریکی EC ($mS.cm^{-1}$)	اسیدیته pH	نسبت جذب سدیم S. A. R
9.65	2.65	6.25	1076	7.33	1.11

بذر ارقام افق، دادفر و یاقوت لوبیا قرمز که کشت آن‌ها در استان خراسان شمالی توسط اداره جهاد کشاورزی به کشاورزان توصیه می‌شود، از ایستگاه تحقیقات شهرستان بجنورد تهیه شد و سپس درصد جوانه‌زنی بذور تعیین گردید و کلیه بذور قبل از کاشت با قارچ‌کش کاپتان به‌نسبت دو در هزار ضدعفونی شدند. رقم افق با منشأ کلمبیا، کلاس تجاری بین‌الملل Morado، فرم بوته ایستاده و رشد نامحدود تیپ ۲، متوسط دوره رشدونمو ۸۵ روز، مناسب برای برداشت مکانیزه، مقاوم به بیماری‌های ویروسی، بازارپسندی مطلوب، تحمل بالا در برابر خشکی و مناسب برای کاشت در مناطق با سرمای زود هنگام پاییزه در کشور می‌باشد. رقم دادفر با منشأ کلمبیا، کلاس تجاری بین‌المللی Red Mexican، فرم بوته رونده و رشد نامحدود تیپ ۳، متوسط دوره رشدونمو ۱۰۱ روز، مقاوم به بیماری‌های ویروسی، بازارپسندی عالی، تحمل بالا در برابر خشکی و مناسب برای کاشت در اقلیم معتدل و سرد کشور می‌باشد. رقم یاقوت خالص شده از توده‌های بومی ایران، با کلاس تجاری بین‌المللی Morado، فرم بوته ایستاده و رشد نامحدود تیپ ۲، متوسط دوره رشدونمو ۸۷ روز، مناسب برای برداشت مکانیزه، مقاوم به بیماری‌های ویروسی، بازارپسندی عالی، تحمل بالا در برابر خشکی و مناسب برای کاشت در تمامی مناطق کشور می‌باشد. به‌منظور آماده نمودن زمین در بهار، با گاوآهن برگردان‌دار شخم نیمه عمیق زده و سپس با زدن دو دیسک عمود بر هم زمین تسطیح شد. کوددهی به‌میزان ۵۰ کیلوگرم در هکتار کود اوره (استارتر) و ۱۰۰ کیلوگرم در هکتار سوپر فسفات تریپل انجام شد. ابعاد هر کرت ۴ × ۳ متر، که شامل شش ردیف بود. فاصله بین ردیف‌ها ۵۰ سانتی‌متر در نظر گرفته

شدند. بذرها در ۱۵ خرداد ماه سال ۱۴۰۰ به‌روش کاشت مسطح به‌صورت تک دانه‌کاری در عمق پنج تا هشت سانتی‌متری کاشته شدند. میانگین حداکثر و حداقل دمای متوسط در زمان کاشت به‌ترتیب ۲۹ و ۱۴ درجه سانتی‌گراد بود. آبیاری در طول دوره داشت به‌صورت منظم، با فاصله هفت روز در نظر گرفته شد و جهت کنترل علف‌های هرز دو بار وجین دستی صورت گرفت. فاکتورهای آزمایش شامل: تراکم گیاهی در سه سطح ۱۸، ۲۵ و ۴۰ بوته در مترمربع، اسید هیومیک گوگرددار (برند تجاری هلیکس بفرم مایع، دارای ۲ درصد نیتروژن، ۰/۲ درصد فسفر، ۱۸ درصد اسید هیومیک و فولیک اسید، گوگرد ۱۵ درصد، کلات آهن ۱۰۰ پی‌پی‌ام، کلات منگنز ۱۵۰ پی‌پی‌ام، کلات روی ۲۵ پی‌پی‌ام و پتاسیم پنج درصد) در سه سطح صفر (بدون اسید هیومیک)، چهار و شش لیتر در هکتار و ارقام لوبیا قرمز (افق، دادفر و یاقوت) بود. فاصله بوته‌ها روی ردیف با توجه به تراکم به‌ترتیب ۱۱، ۸ و ۵ سانتی‌متر و فاصله بین ردیف، ۵۰ سانتی‌متر در نظر گرفته شد. تراکم مورد نظر پس از انجام عملیات تنک و واکاری در پایان مرحله رشد گیاهچه ای (حدود سه هفته پس از کاشت) تنظیم گردید. کاربرد اسید هیومیک همراه آب آبیاری در سه مرحله شامل: دو تا چهار برگی، قبل از گل‌دهی و بعد از تشکیل غلاف بسته به سطح تیمار انجام گردید. جهت دقت در اعمال تیمار اسید هیومیک، مقادیر مورد نیاز بر اساس تیمارهای آزمایشی برای هر کرت بر اساس نقشه طرح محاسبه شد. سپس، مقدار محاسبه شده برای هر کرت با ۱۰ لیتر آب به‌خوبی مخلوط شد و محلول حاصل در زمان غروب آفتاب به‌طور منظم پای بوته‌ها اضافه گردید. صبح روز بعد، کرت‌ها به‌طور مجزا آبیاری شدند. در انتهای دوره رشد، ارتفاع گیاه به‌وسیله خط‌کش با دقت یک میلی‌متر از سطح خاک اندازه‌گیری شد. همچنین جهت اندازه‌گیری عملکرد توده زیستی، یک و نیم مترمربع از هر کرت به‌صورت تصادفی انتخاب و برداشت به‌صورت کف‌بر از سطح زمین انجام شد. سپس، نمونه‌های انتخابی در آون به‌مدت ۴۸ ساعت با دمای ۷۰ درجه سانتی‌گراد خشک شدند. سپس وزن هر نمونه با ترازوی دیجیتال تعیین گردید و اعداد به‌دست آمده به کیلوگرم در هکتار تبدیل و به‌عنوان عملکرد بیولوژیک مشخص گردید. به‌منظور محاسبه عملکرد دانه، کل غلاف‌های برداشت شده از سطح یک مترمربع جدا شده و با دست عملیات بوجاری انجام و دانه‌ها جدا گردید. وزن دانه‌ها با ترازوی دیجیتال تعیین شد. کلروفیل به‌روش آرنون اندازه‌گیری شد (Arnon., 1967). میزان جذب در محلول رویی عصاره در طول موج‌های ۶۶۳ نانومتر برای کلروفیل a و ۶۴۶ نانومتر برای کلروفیل b به‌وسیله دستگاه اسپکتروفتومتر (UNICO, 2000, Germany) قرائت شد. مقدار رنگیزه‌ها از طریق معادله‌های زیر محاسبه گردید.

$$\text{Chl } a = 12.7\ (A_{663}) - 2.69\ (A_{645}) \times V/100$$

$$\text{Chl } b = 22.9\ (A_{645}) - 4.68\ (A_{663}) \times V/100$$

$$\text{Chl T} = 20.2\ (A_{645}) + 8.02\ (A_{663}) \times V/1000\ W$$

که در آن‌ها، Cl *a*: کلروفیل a، Cl *b*: کلروفیل b، Cl T: کلروفیل کل، V: حجم محلول صاف شده حاصل از سانتریفیوز برحسب میلی‌لیتر ، A: جذب نور در طول موج‌های ۶۶۳، ۶۴۵ و ۴۷۰ نانومتر و W: وزن تر نمونه بر حسب گرم است.

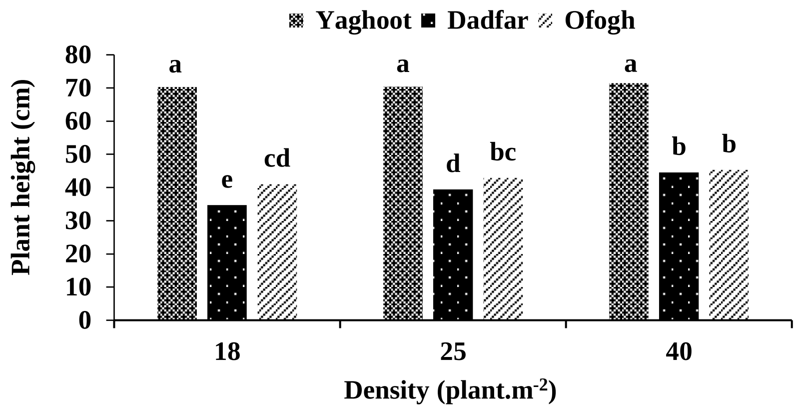
تجزیه واریانس داده‌ها با استفاده از نرم‌افزار آماری SAS 9.4 و رسم نمودارها با نرم‌افزار Excel انجام شد. مقایسه میانگین تیمارها با آزمون LSD در سطح احتمال پنج درصد محاسبه شد.

نتایج و بحث

ارتفاع بوته

نتایج نشان داد که اثر ساده رقم، تراکم و اسید هیومیک گوگرددار و همچنین، برهم‌کنش رقم و تراکم روی ارتفاع بوته در سطح یک درصد معنی‌دار بود (جدول ۲). برهم‌کنش تراکم و رقم نشان داد که در همه تراکم‌ها بیشترین ارتفاع بوته مربوط به رقم یاقوت بود. همچنین، رقم یاقوت به‌طور معنی‌داری تحت تأثیر تراکم‌های مختلف قرار نگرفت، ولی دو رقم دیگر به‌ویژه رقم دادفر تحت تأثیر تراکم قرار گرفتند و با افزایش تراکم، ارتفاع بوته آن‌ها افزایش یافت (شکل ۱). بیشترین ارتفاع بوته مربوط به رقم یاقوت در تراکم ۴۰ بوته به‌میزان ۷۱ سانتی‌متر و کمترین ارتفاع بوته مربوط به رقم دادفر در هر سه تراکم بود. در تراکم‌های پایین، رقابت بین بوته‌ها کمتر بوده و با افزایش تراکم گیاهی رقابت بین بوته‌ها و و در نتیجه، ارتفاع آن‌ها افزایش می‌یابد (Emami Bistgani et al., 2014). برخی محققان افزایش ارتفاع بوته در تراکم زیاد را به کاهش نفوذ نور در سایه‌انداز گیاهی و افزایش رقابت بین بوته‌ها جهت دریافت نور نسبت دادند. با افزایش تراکم بوته و ایجاد رقابت بین بوته‌ها به‌خصوص بوته‌های روی ردیف، رشد مریستم انتهایی تحریک شده و به‌دلیل جذب و انتقال مواد فتوسنتزی به مریستم انتهایی، سنتز اکسین و جیبرلین بیشتر شده و در نتیجه، ارتفاع گیاه افزایش می‌یابد. این فرضیه با توجه به این که اکسین باعث افزایش تقسیمات سلولی بیشتر و جیبرلین و مشتقات آن سبب افزایش رشد طولی سلول‌ها به‌ویژه میان‌گره‌های ساقه می‌شوند، قابل توجیه است (Siahmargue et al., 2014). افزایش تراکم بوته موجب افزایش سنتز هورمون جیبرلین در میانگره‌های ساقه شده و در نتیجه، طول میانگره‌ها افزایش می‌یابد (Clarke

& Simpson, 1978). در پژوهشی با ارزیابی اثر فاصله بوته روی ردیف (فاصله بین ردیف ۱۹ سانتی‌متر) روی گیاه لوبیا چشم بلبلی دریافتند که فاصله بوته بر ارتفاع گیاه در مرحله پرشدن دانه بیشترین اثر را داشته و با کاهش فاصله بوته، ارتفاع گیاه به‌طور معنی‌داری افزایش یافته است (Mason & Leihner, 1986). همچنین، نتایج آزمایش نشان داد که ارتفاع بوته به‌طور معنی‌داری تحت تأثیر اسید هیومیک قرار گرفت. بیشترین ارتفاع بوته (۵۵ سانتی‌متر) در تیمار شش لیتر در هکتار اسید هیومیک و کمترین آن با ۴۷ سانتی‌متر در تیمار عدم مصرف اسید هیومیک مشاهده شد. اسید هیومیک از طریق اثرات شبه هورمونی مثل فعالیت‌های اکسین مانند و سایتوکینین مانند و با تأثیر بر متابولیسم‌های سلولی گیاهان و همچنین با قدرت کلات‌کنندگی و افزایش جذب عناصر غذایی سبب افزایش ارتفاع در گیاه می‌شود (Dadnia, 2017).



شکل ۱- مقایسه میانگین اثر متقابل تراکم کاشت و رقم بر ارتفاع بوته لوبیا قرمز

Fig. 1- Mean comparison of interaction effect of plant density and cultivar on plant height of red bean

تعداد برگ

نتایج نشان داد که اثر اصلی عوامل آزمایش و همچنین برهم‌کنش رقم و اسید هیومیک گوگرددار در سطح یک درصد بر صفت تعداد برگ لوبیا قرمز معنی‌دار بودند (جدول ۲). بیشترین تعداد برگ در رقم یاقوت (به میزان ۱۱۲ برگ در بوته) بود و رقم‌های دادفر و افق به‌ترتیب در رده‌های بعدی قرار گرفتند. بیشترین تعداد برگ در بین تراکم‌های مورد بررسی مربوط به تراکم ۱۸ بوته در مترمربع بود و تراکم‌های ۲۵ و ۴۰ بوته سبب کاهش این صفت شد، اگرچه تراکم ۲۵ و ۴۰ اختلاف معنی‌داری با یکدیگر نداشتند. مصرف اسید هیومیک گوگردار تا سطح چهار لیتر در هکتار تأثیر معنی‌داری روی این صفت نداشت، امّا در سطح شش لیتر در هکتار سبب افزایش تعداد برگ در بوته شد (جدول ۳). در اثر برهم‌کنش رقم و اسید هیومیک گوگردار مشخص شد که بیشترین تعداد برگ در رقم یاقوت به همراه تمامی سطوح کودی بود که نشان داد که رقم یاقوت تحت تأثیر سطوح مختلف اسید هیومیک قرار نگرفت (شکل ۲). در رقم دادفر مشاهده شد که اسید هیومیک تا سطح چهار لیتر در هکتار تأثیر معنی‌داری روی تعداد برگ نداشت. همچنین بیشترین تأثیر سطوح کوددهی مربوط به رقم افق بود که با افزایش در هر سطح اسید هیومیک گوگردار، تعداد برگ در رقم افق افزایش یافت (شکل ۲).

محققان در آزمایشی اعلام کردند که با کاهش تراکم به‌علت کاهش رقابت درون گونه‌ای، تعداد برگ و تعداد انشعاب در بوته لوبیا افزایش می‌یابد (Jadoski et al., 2000). برخی محققان اظهار داشتند که کاربرد اسید هیومیک در مراحل ابتدایی رشد می‌تواند تاثیر بسزایی در افزایش تعداد برگ گیاه داشته باشد. افزایش تعداد برگ در مراحل ابتدایی رشدونمو گیاه احتمالاً به‌دلیل گسترش سیستم ریشه‌ای در غلظت‌های بالای اسید هیومیک است که این خود منجر به افزایش جذب عناصر غذایی، رشد بهتر و به‌دنبال آن افزایش تعداد برگ می‌شود (Ahmadi Nouraldinvand et al., 2019). برخی محققان، از جمله نظریان و اللهوردی‌زاده (Nazari Deljou & Allahverdizadeh, 2014) در مورد توانایی اسید هیومیک روی افزایش تعداد برگ گیاه عنوان کردند که با افزایش تعداد برگ، میزان سطح فتوسنتزکننده و فعالیت فتوسنتزی افزایش یافته که در نتیجه، عملکرد افزایش می‌یابد. همچنین در مطالعه‌ای گزارش کردند که افزایش تعداد برگ می‌تواند ناشی از اثر مثبت مواد معدنی و فعالیت شبه‌هورمونی اسید هیومیک بر رشد و جذب عناصر غذایی بوته‌های کاهو باشد (Kamari Shahmaleki, 2010) که با نتایج تحقیق حاضر مطابقت دارد.

جدول ۲- تجزیه واریانس فاکتورهای تراکم و اسید هیومیک روی صفات مورد بررسی ارقام لوبیا قرمز

Table 2- Analysis of variance for the plant density and humic acid factors on the examined traits of red bean cultivars

منابع تغییرات S.O.V.	درجه آزادی d.f	ارتفاع بوته Plant height	تعداد برگ در بوته Number of leaves per plant	تعداد دانه در غلاف Number of seeds per pod	وزن ۱۰۰ دانه Weight of 100-seeds	عملکرد دانه Seed yield	عملکرد بیولوژیک Biological yield	کلروفیل a Chlorophyll a	کلروفیل b Chlorophyll b	کلروفیل کل Total chlorophyll
بلوک Block	2	21.85^{ns}	16.53^{ns}	0.93^{ns}	9.79^{ns}	81734.3^{ns}	820125^{ns}	0.008^{ns}	0.056^{ns}	0.109^{ns}
رقم Varieties (V)	2	7882.3^{**}	5615.7^{**}	29.04^{**}	1776.8^{**}	64368414^{**}	27987074^{**}	4.702^{**}	0.046^{ns}	3.841^{**}
تراکم Density (D)	2	177.2^{**}	54.53^{*}	11.49^{**}	228.75^{**}	1229771^{**}	48802523^{**}	2.691^{**}	0.096^{*}	6.29^{**}
اسید هیومیک Humic acid (H)	2	434.09^{**}	314.53^{**}	3.30^{**}	79.60^{**}	14754301^{**}	2317349^{**}	8.856^{**}	1.465^{**}	133.9^{**}
V × D	4	44.40^{**}	29.67^{ns}	0.29^{ns}	13.21^{ns}	129579^{ns}	572977^{ns}	0.482^{**}	0.503^{**}	2.73^{*}
V × H	4	16.63^{ns}	128.90^{**}	0.10^{ns}	13.01^{ns}	2070195^{**}	292763^{ns}	0.481^{**}	0.062^{ns}	3.21^{*}
D × H	4	10.34^{ns}	14.06^{ns}	0.38^{ns}	1.49^{ns}	307364^{**}	119524^{ns}	0.263^{**}	0.035^{ns}	1.07^{ns}
V × D × H	8	8.81^{ns}	9.54^{ns}	0.12^{ns}	1.67^{ns}	113399^{ns}	216110^{ns}	0.141^{*}	0.234^{**}	2.92^{**}
خطا Error	52	11.02	14.76	0.42	12.05	72245	352225	0.066	0.030	0.128
ضریب تغییرات C.V	-	6.49	3.85	21.39	11.73	10.84	8.82	13.20	19.79	12.61

ns، * و**: به‌ترتیب غیر معنی‌دار، معنی‌دار در سطح احتمال پنج درصد و یک درصد.

ns, * and **: are non-significant, significant at the 5% and 1% probability levels, respectively.

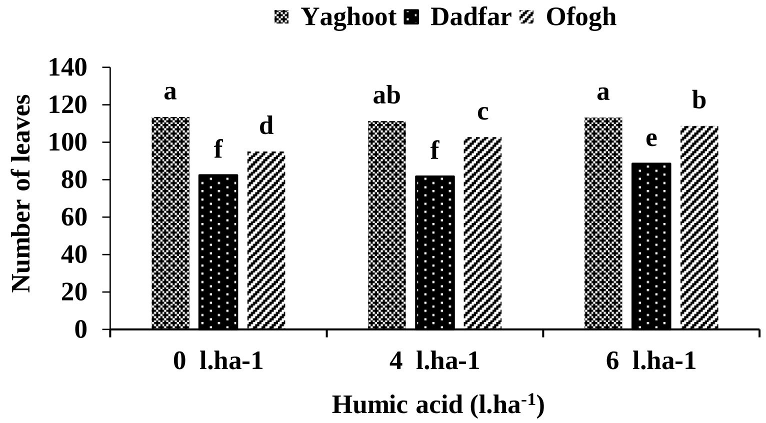
جدول ۳- مقایسه میانگین اثر ساده رقم، تراکم و اسید هیومیک روی صفات لوبیا قرمز

Table 3- Mean comparison of the simple effects of cultivar, plant density and humic acid on red bean traits

تیمارها Treatments	ارتفاع بوته (سانتی‌متر) Plant height (cm)	تعداد برگ Number of leaves	تعداد دانه در غلاف Number of seeds in a pod	وزن ۱۰۰ دانه (گرم) Weight of 100-seeds (g)	عملکرد دانه (کیلوگرم در هکتار) Seed yield ($kg.ha^{-1}$)	عملکرد بیولوژیک (کیلوگرم در هکتار) Biological yield ($kg.ha^{-1}$)	کلروفیل a (میلی‌گرم بر گرم وزن تر) Chlorophyll a ($mg.g^{-1}$ FW)	کلروفیل b (میلی‌گرم بر گرم وزن تر) Chlorophyll b ($mg.g^{-1}$ FW)	کلروفیل کل (میلی‌گرم بر گرم وزن تر) Total chlorophyll ($mg.g^{-1}$ FW)
					رقم Varieties				
یاقوت Yaghoot	71^{a}*	112.7^{a}	4.1^{a}	32.66^{b}	3765^{a}	7585^{a}	2.430^{a}	0.844^{a}	3.274^{a}
دادفر Dadfar	40^{c}	102.2^{b}	2.0^{c}	20.40^{c}	766^{c}	5602^{c}	1.750^{b}	0.926^{a}	2.597^{b}
افق Ofogh	43^{b}	84.2^{c}	3.1^{b}	35.74^{a}	2902^{b}	6995^{b}	1.671^{b}	0.897^{a}	2.647^{b}
					تراکم (بوته در مترمربع) Density ($plant.m^{-2}$)				
19	49^{c}	101.3^{a}	3.77^{a}	32.59^{a}	2572^{a}	5538^{c}	2.241^{a}	0.930^{a}	3.022^{a}
25	51^{b}	98.6^{b}	2.85^{b}	29.44^{b}	2233^{b}	6457^{b}	1.996^{b}	0.820^{b}	2.817^{b}
40	54^{a}	99.2^{b}	2.51^{b}	26.77^{c}	2628^{a}	8186^{a}	1.615^{c}	0.916^{ab}	2.679^{b}
					اسید هیومیک (لیتر در هکتار) Humic acid ($l.ha^{-1}$)				
0	47^{c}	97.0^{b}	2.77^{b}	27.77^{b}	1743^{c}	6476^{b}	1.392^{c}	0.628^{c}	2.020^{c}
4	51^{b}	98.6^{b}	2.92^{b}	29.85^{a}	2468^{b}	6657^{b}	1.924^{b}	0.961^{b}	2.885^{b}
6	55^{a}	103.5^{a}	3.44^{a}	31.18^{a}	3221^{a}	7049^{a}	2.536^{a}	1.077^{a}	3.613^{a}

* میانگین‌هایی که دارای حروف مشترک در هر ستون هستند، بر اساس آزمون حداقل اختلاف معنی‌دار (LSD) در سطح احتمال پنج درصد تفاوت معنی‌دار ندارند.

* Averages that have common letters in each column are not significantly different based on the LSD test at the 5% probability level



شکل ۲- مقایسه میانگین اثر متقابل اسید هیومیک و رقم بر تعداد برگ ارقام لوبیا قرمز

Fig. 2- Mean comparison of interaction effect of humic acid and variety on the number of leaves of red bean cultivars

تعداد دانه در غلاف

داده‌های به‌دست آمده از این آزمایش نشان داد که اثر ساده رقم، تراکم و اسید هیومیک در سطح یک درصد بر صفت تعداد دانه در غلاف معنی‌دار بودند، ولی هیچ یک از برهم‌کنش‌های فاکتورهای آزمایش روی صفت مذکور معنی‌دار نبودند (جدول ۲). نتایج آزمایش نشان داد که رقم یاقوت از نظر تعداد دانه در غلاف نسبت به دو رقم دیگر برتری دارد و رقم افق و دادفر به‌ترتیب در رتبه دوم و سوم قرار گرفتند. در بین تراکم‌های مورد بررسی، بیشترین تعداد دانه در غلاف مربوط به تراکم ۱۸ بوته در مترمربع بود و با افزایش تراکم، میزان این صفت کاهش یافت. البته اختلاف معنی‌داری بین تراکم ۲۵ و ۴۰ بوته مشاهده نشد. همچنین، اثر ساده اسید هیومیک گوگرددار نشان داد که تعداد دانه در غلاف لوبیا قرمز تا سطح چهار لیتر در هکتار تحت تأثیر این فاکتور قرار نگرفت، ولی سطح شش لیتر در هکتار اسید هیومیک سبب افزایش ۱۹/۴ درصدی تعداد دانه در غلاف نسبت به عدم کوددهی شد (جدول ۲). تعداد دانه در غلاف از دیگر اجزای عملکرد دانه لوبیا است که با تغییر تراکم کاشت تغییر می‌کند. این صفت بیشتر توسط عوامل ژنتیکی کنترل می‌شود، امّا می‌تواند تحت تأثیر محیط نیز واقع شود (Ghanbari et al., 2005). نتایج مطالعه هایات و همکاران (Hayat et al., 2003) نیز نشان داد که افزایش تراکم بوته سبب کاهش تعداد دانه در هر غلاف می‌شود. بر این اساس، انتخاب تراکم مناسب بوته جهت دستیابی به سطح مطلوبی از عملکرد ضروری است (Hayat et al,. 2003). محققان در مطالعه‌ای دیگر گزارش نمودند که مصرف اسید هیومیک، افزایش تعداد غلاف در بوته، تعداد دانه در غلاف، وزن هزار دانه و عملکرد دانه لوبیا را در پی داشت (Jahan et al., 2012). در پژوهشی با بررسی محلول‌پاشی اسید هیومیک در شرایط تنش خشکی در گیاه لوبیا اعلام نمودند که صفات تعداد غلاف در بوته، تعداد دانه در بوته و وزن دانه در بوته به‌طور معنی‌داری افزایش یافت (Beheshti et al., 2017).

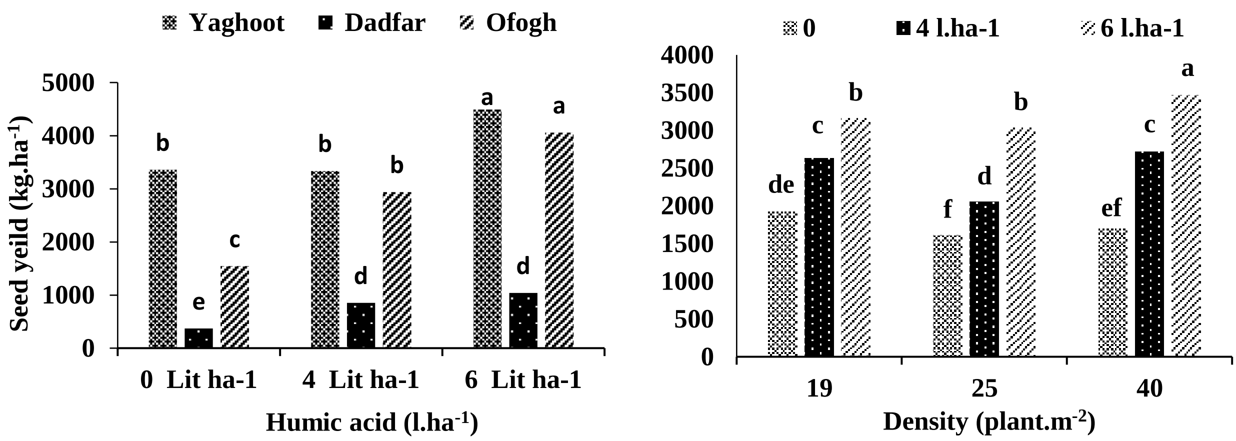
وزن ۱۰۰ دانه

داده‌های به‌دست آمده از این آزمایش نشان داد که اثر ساده رقم، تراکم و اسید هیومیک در سطح یک درصد بر صفت وزن ۱۰۰ دانه معنی‌دار بودند، ولی هیچ یک از برهم‌کنش‌های فاکتورهای آزمایش روی این صفت معنی‌دار نبودند (جدول ۲). بیشترین وزن ۱۰۰ دانه در بین رقم‌های مورد بررسی مربوط به رقم افق بود که از نظر اندازه نیز بزرگ‌تر از دو رقم دیگر بود. رقم یاقوت در رتبه دوم و افق در رتبه سوم قرار گرفت. فاکتور تراکم نشان داد که با افزایش تراکم وزن ۱۰۰ دانه کاهش می‌یابد به‌نحوی که در تراکم ۴۰ بوته در مترمربع، وزن ۱۰۰ دانه لوبیا قرمز، ۱۷/۸ درصد کاهش یافت. مشاهده شد که کاربرد اسید هیومیک سبب افزایش وزن ۱۰۰ دانه لوبیا می‌شود، ولی بین سطوح چهار و شش لیتر در هکتار اختلاف معنی‌داری مشاهده نشد (جدول ۳). اسید هیومیک در سطح شش لیتر در هکتار سبب افزایش ۱۰/۹ درصدی نسبت به عدم کوددهی شد. نتایج تحقیقات (Babaei et al., 2012) نشان‌دهنده تأثیر مثبت معنی‌دار گوگرد بر وزن هزاردانه و عملکرد دانه سویا در سطح یک درصد است. به‌طوری که با کاربرد سه تن گوگرد در هکتار، وزن هزاردانه و عملکرد دانه نسبت به تیمار عدم مصرف گوگرد به‌طور معنی‌داری افزایش یافت. همچنین، تحقیقات نشان داده است که در اثر کمبود گوگرد، فتوسنتز شدیداً کاهش می‌یابد و موجب جلوگیری از طویل شدن ریشه‌ها، افزایش قطر ریشه انتهایی و ریشه‌های موئین می‌گردد که نتیجه نهایی آن، کاهش رشد رویشی و

زایشی و در نهایت، کاهش عملکرد اقتصادی و بیولوژیکی گیاه است (Piri et al., 2011). پژوهشگران در پژوهشی گزارش کردند که با افزایش مصرف هیومیک اسید از صفر به ۴/۵ لیتر در هکتار، وزن هزار دانه نخود به‌طور معنی‌دار و ۱۶/۱ درصد افزایش یافت (Saadati & Baghi, 2014). عدم کفایت مواد فتوسنتزی در دوره پر شدن دانه در تراکم‌های بالا ممکن است دلیلی بر کاهش وزن ۱۰۰ دانه با افزایش تراکم بوته می‌باشد (Majnoun Hosseini et al., 2003).

عملکرد دانه

بر اساس داده‌های موجود در تجزیه واریانس مشخص شد که اثر ساده رقم، تراکم و اسید هیومیک، برهم‌کنش رقم و اسید هیومیک و همچنین تراکم و اسید هیومیک در سطح احتمال یک درصد بر عملکرد دانه لوبیا قرمز معنی‌دار بودند (جدول ۲). در بین ارقام مورد بررسی مشاهده شد که رقم یاقوت دارای بیشترین عملکرد دانه به‌میزان ۳۷۶۵ کیلوگرم در هکتار بود و پس از آن، رقم افق به‌میزان ۲۹۰۲ کیلوگرم در هکتار قرار گرفت. اثر ساده تراکم نشان داد که تراکم ۱۸ و ۴۰ بوته بیشترین عملکرد را دارا بودند و تفاوت معنی‌داری بین آن‌ها مشاهده نشد. علت افزایش عملکرد در تراکم پایین به احتمال زیاد به‌دلیل عدم رقابت بین گیاهان و در دسترس بودن عناصر غذایی و جذب بیشتر آن می‌باشد که در نتیجه آن، گیاهان رشد مناسب تری داشته و عملکرد بالاتری به ارمغان می‌آورد. همچنین، علت بالا بودن عملکرد در تراکم بالا، به سبب وجود گیاه بیشتر در واحد سطح می‌باشد. در اثر متقابل رقم و اسید هیومیک روی صفت عملکرد دانه مشاهده شد که بیشترین میزان عملکرد دانه مربوط به برهم‌کنش ارقام یاقوت و افق با اسید هیومیک شش لیتر در هکتار بود. همچنین، مشاهده شد که در رقم یاقوت کاربرد اسید هیومیک تا سطح چهار لیتر در هکتار اثر معنی‌داری روی صفت مذکور نداشت (شکل ۳). همچنین در برهم‌کنش تراکم و اسید هیومیک گوگردار روی عملکرد دانه لوبیا قرمز مشاهده شد که بیشترین سطح عملکرد در همه تراکم‌ها، در حضور اسید هیومیک گوگردار شش لیتر در هکتار شکل گرفت و در این بین، بیشترین عملکرد دانه مربوط به سطح اسید هیومیک شش لیتر در هکتار در تراکم ۴۰ بوته در مترمربع مشاهده شد. همچنین، مشخص شد که بیشترین اختلاف در عملکرد بین سطوح اسید هیومیک نیز در تراکم ۴۰ بوته در مترمربع می‌باشد و در تراکم ۱۸ بوته این اختلاف به مراتب کمتر است (شکل ۳). محققان در مطالعه‌ای گزارش کردند که با افزایش تراکم لوبیا تا ۵۰ بوته در مترمربع، عملکرد دانه، عملکرد بیولوژیکی، شاخص برداشت و تعداد غلاف در واحد سطح افزایش یافت (Faraji et al., 2010). محققان طی مطالعه‌ای دو ساله روی نخود زراعی در شرایط دیم دریافتند که عملکرد دانه با افزایش تراکم بوته از ۱۴ تا ۵۶ بوته در مترمربع به‌طور معنی‌داری افزایش یافت (Beeh & Leach, 2009). محلول‌پاشی برگ‌های ارزن با اسید هیومیک، طول ریشه، ارتفاع گیاه، طول خوشه، عملکرد دانه، وزن هزار دانه و محتوای پروتئین خام را افزایش داده است (Saruhan et al., 2011). در مطالعه‌ای دیگر، با بررسی اثر سطوح مختلف اسید هیومیک بر عملکرد، اجزای عملکرد و خصوصیات رشدی ذرت مشخص گردید که تیمارهای ۳۵۰۰ و ۴۵۰۰ گرم در هکتار اسید هیومیک، به‌دلیل شاخص و دوام سطح برگ بالاتر، عملکرد دانه بالاتری را به خود اختصاص دادند (Ghorbani et al., 2010).



شکل ۳- اثر متقابل الف) اسید هیومیک و تراکم بوته و ب) اسید هیومیک و رقم بر عملکرد دانه لوبیا قرمز

Fig. 3- Interaction effect of a) humic acid and plant density and b) humic acid and variety on seed yield of red bean

عملکرد بیولوژیک

نتایج آزمایش نشان داد که اثر ساده هر سه فاکتور رقم، تراکم و اسید هیومیک گوگرددار در سطح احتمال یک درصد بر عملکرد بیولوژیک معنی‌دار بود، ولی هیچ یک از اثر متقابل‌ها تأثیر معنی‌داری روی این صفت نداشتند (جدول ۲). مقایسه میانگین صفات نشان داد که عملکرد بیولوژیک در رقم یاقوت دارای بالاترین میزان (۷۵۸۵ کیلوگرم در هکتار) بود. رقم افق با ۶۹۹۵ کیلوگرم در هکتار در رتبه بعدی قرار گرفت. اثر ساده تراکم نشان داد که با افزایش تراکم، عملکرد بیولوژیک افزایش یافت که این امر به‌سبب افزایش تعداد بوته در هر مترمربع می‌باشد. در تراکم ۴۰ بوته، عملکرد بیولوژیک نسبت به کمترین تراکم آزمایش یعنی ۱۸ بوته، ۳۲/۳ درصد افزایش داشت. همچنین، مشاهده شد که مصرف اسید هیومیک تا سطح چهار لیتر در هکتار روی صفت عملکرد بیولوژیک اختلاف معنی‌داری با عدم مصرف نداشت، ولی سطح شش لیتر در هکتار سبب افزایش ۸/۱۲ درصدی نسبت به عدم مصرف اسید هیومیک گوگرددار شد (جدول ۳). محققان در پژوهشی اعلام نمودند که بیشترین وزن هزار دانه، عملکرد دانه و عملکرد بیولوژیکی گندم در مقدار مصرف ۱۵ کیلوگرم در هکتار اسید هیومیک حاصل شد (Anwar et al., 2016). در مطالعه‌ای دیگر گزارش شد که محلول‌پاشی چهار لیتر در هکتار هیومیک اسید باعث افزایش وزن هزار دانه و ارتفاع بوته گندم شد، امّا بیشترین عملکرد دانه، عملکرد بیولوژیک و طول سنبله در تیمار محلول‌پاشی دو لیتر در هکتار هیومیک اسید مشاهده شد (Manal et al., 2016). اسید هیومیک به‌واسطه تأثیر شبه هورمونی و بهبود متابولیسم سلولی در افزایش جذب نیتروژن نقش دارد و با تأثیر بر نفوذپذیری غشای سلولی، جذب عناصر غذایی را افزایش داده، شرایط کلی رشد و عملکرد بیولوژیک را بهبود می‌بخشد (Safaee et al., 2016). با افزایش فاصله بین بوته‌ها، به‌دلیل ایجاد فضای بیشتر در اطراف گیاه امکان دریافت نور و در نتیجه، فتوسنتز بیشتر فراهم شده و نسبت به گیاهانی که به هم نزدیک‌تر هستند، رشد بهتری مشاهده شد (Bakry et al., 2011). در حالی‌که در این آزمایش با کم شدن فاصله کاشت عملکرد بیولوژیک گیاه افزایش یافته است، می‌توان این طور توجیه نمود که در این آزمایش تراکم بالاتر بوته‌ها این کاهش را جبران کرده است. نتایج مطالعه برخی محققان نشان داد که با افزایش تراکم لوبیا عملکرد دانه، عملکرد بیولوژیکی، شاخص برداشت و تعداد غلاف در واحد سطح افزایش یافت (Farajee et al., 2010).

کلروفیل a، b و کل

داده‌های به‌دست آمده از این آزمایش نشان داد که اثر ساده تراکم و اسید هیومیک بر صفات کلروفیل a، b و کلروفیل کل معنی‌دار بودند. همچنین، کلروفیل a و کلروفیل کل نیز تحت تأثیر رقم قرار گرفتند، ولی کلروفیل b در این بین معنی‌دار نشد. برهم‌کنش تراکم کاشت و اسید هیومیک گوگرددار نیز بر صفات کلروفیل a، b و کلروفیل کل ارقام مختلف لوبیا قرمز معنی‌دار بودند (جدول ۲). مقایسه میانگین اثر متقابل تراکم کاشت و اسید هیومیک بر میزان کلروفیل a، b و کلروفیل کل برگ ارقام لوبیا قرمز (جدول ۴) نشان داد که در رقم یاقوت هنگامی که گیاهان با اسید هیومیک تیمار نشده بودند میزان کلروفیل a و کلروفیل کل در تراکم‌های مختلف تفاوت معنی‌داری نداشتند؛ ولی وقتی تیمار اسید هیومیک به گیاهان افزوده شد، با افزایش میزان تراکم، کلروفیل a، b و کلروفیل کل رقم یاقوت کاهش معنی‌داری داشت، که در این رقم بیشترین میزان کلروفیل a و کل مربوط به تراکم‌های ۱۸ و ۲۵ بوته در مترمربع به‌همراه تیمار اسید هیومیک شش لیتر در هکتار بود. همچنین در بین تمامی رقم‌ها، بیشترین میزان کلروفیل a و کل نیز مربوط به این سطوح و رقم بود (جدول ۳). در مجموع در هر سه رقم ، در تراکم ۱۸ بوته در مترمربع، اسید هیومیک شش لیتر در هکتار سبب تولید بیشترین میزان کلروفیل a شد و در این بین، رقم یاقوت توانایی تولید کلروفیل a بیشتری در تراکم بالاتر (۲۵ بوته در مترمربع) داشت. میزان کلروفیل کل رقم‌های یاقوت و افق، در عدم کوددهی تحت تأثیر تراکم قرار نگرفت، ولی با افزایش میزان اسید هیومیک، این میزان در هر سه رقم افزایش معنی‌داری داشت و بیشترین میزان در بالاترین سطح اسید هیومیک و تراکم‌های ۱۸ و ۲۵ بوته رقم یاقوت و تراکم ۱۸ بوته رقم دادفر بود (جدول ۴). اسید هیومیک سبب افزایش ماندگاری بافت‌های فتوسنتزکننده شده و از طریق تأثیرات مثبت فیزیولوژیک از جمله اثر بر متابولیسم سلول‌های گیاهی، افزایش کلروفیل برگ را باعث می‌شود (Naderi et al., 2002). محققان در مطالعه‌ای اعلام نمودند که مصرف کودهای آلی سبب افزایش تولید کلروفیل در برگ‌های گیاه لوبیا می‌شود (Astaraei & Ivani, 2008). از طرف دیگر، عوامل محیطی تأثیر بسزایی بر کمیت و کیفیت محصول به‌دست آمده دارد، با این حال کنترل کامل این عوامل امکان‌پذیر نیست، ولی می‌توان با استفاده از روش‌هایی، اثرات محیطی را به‌شکلی مدیریت کرد که گیاه تحت هر شرایطی، حداکثر توانایی خود را بروز دهد که از جمله مهم‌ترین این تکنیک‌ها، انتخاب تراکم گیاهی مطلوب است (Ibrahim, 2012).

جدول ۴- اثر متقابل تراکم کاشت و اسید هیومیک بر میزان کلروفیل a، b و کلروفیل کل برگ ارقام لوبیا قرمز

Table 4- Interaction effect of density and humic acid on chlorophyll a, b and total chlorophyll of leaves red bean cultivars

رقم Varieties	تراکم Density (plant.m^{-2})	کلروفیل کل Total chlorophyll (mg.g^{-1} FW^{1}) اسید هیومیک Humic acid (l.ha^{-1})			کلروفیل b Chlorophyll b (mg.g^{-1} FW) اسید هیومیک Humic acid (l.ha^{-1})			کلروفیل a Chlorophyll a ((mg.g^{-1} FW) اسید هیومیک Humic acid (l.ha^{-1})		
		6	4	0	6	4	0	6	4	0
یاقوت Yaghoot	40	3.43^{be*}	2.65^{ghi}	2.94^{dh}	0.96^{dg}	0.59^{ijk}	0.93^{dg}	2.47^{bc}	2.05^{def}	2.00^{ef}
	25	4.19^{a}	3.29^{cf}	2.49^{hi}	1.21^{bcd}	0.88^{fi}	0.27^{i}	2.98^{a}	2.40^{be}	2.22^{cf}
	19	4.25^{a}	3.47^{bcd}	2.72^{fgh}	1.19^{be}	1.01^{cg}	0.51^{kl}	3.05^{a}	2.46^{bcd}	2.20^{cf}
دادفر Dadfar	40	3.10^{cg}	2.49^{hi}	1.24^{k}	1.62^{a}	1.43ab	0.61^{ijk}	1.48^{gh}	1.06^{hij}	0.62^{k}
	25	2.98^{dh}	2.72^{fgh}	2.11^{ij}	0.86^{fj}	0.91^{eh}	0.64^{hk}	2.12^{cf}	1.80f^{g}	1.46^{gh}
	19	3.99^{ab}	2.92^{dh}	1.78^{jk}	0.81^{gi}	0.80^{gi}	0.61^{ijk}	3.18^{a}	2.11^{cf}	1.17^{hi}
افق Ofogh	40	3.47^{bcd}	2.74^{fgh}	1.81^{jk}	0.61^{ijk}	0.83^{gj}	0.62^{hk}	2.37^{cde}	1.45^{gh}	0.99^{ijk}
	25	3.46^{bcd}	2.79^{fgh}	1.29^{ik}	1.12^{cf}	0.88^{fj}	0.59^{jk}	2.34^{cde}	1.91^{f}	0.69^{jk}
	19	3.40^{cde}	2.86^{eh}	1.76^{jk}	1.30^{bc}	1.28^{bc}	0.82^{gi}	2.79^{ab}	2.03^{ef}	1.13^{hi}

* میانگین‌هایی که دارای حروف مشترک در هر ستون هستند، بر اساس آزمون حداقل اختلاف معنی‌دار (LSD) در سطح احتمال پنج درصد تفاوت معنی‌دار ندارند.

* Averages that have common letters in each column are not significantly different based on the LSD test at the 5% probability level.

نتیجه‌گیری

به‌طور کلی مشخص شد که اسید هیومیک و تراکم کاشت توانسته‌اند بر اکثر شاخص‌های مورد بررسی و رنگیزه‌های فتوسنتزی گیاه لوبیا قرمز اثر مثبت بگذارند. بیشترین عملکرد دانه لوبیا، که مهم‌ترین صفت مورد مطالعه در این آزمایش به‌شمار می‌رفت، در رقم یاقوت همراه با اسید هیومیک شش لیتر در هکتار مشاهده شد. البته اثر متقابل تراکم و اسید هیومیک روی عملکرد دانه نیز نشان داد که بالاترین میزان عملکرد دانه لوبیا مربوط به تراکم ۴۰ بوته در مترمربع به همراه اسید هیومیک گوگرددار شش لیتر در هکتار بود. با رعایت کردن سطح مناسب از تراکم، رقم و اسید هیومیک امکان برداشت حداکثر عملکرد از لوبیا قرمز در منطقه مورد نظر خواهیم داشت.

References

Abdzad Gohari, A., & Sadeghipour, O. (2019). Effect of irrigation and humic acid on yield and water use efficiency in common bean. *Journal of Water Research in Agriculture (Soil and Water Science)*, *33*(3), 383-395. (In Persian with English Abstract). https://doi.org/10.22092/jwra.2019.120469

Ahmadi Nouraldinvand, F., Moradi Telavat, M. R., Siadat, S. A., & Moshatati, A. (2019). The reaction of vegetative and reproductive growth of guar (*Cyamopsis tetragonoloba* L.) to humic acid application with irrigation water in different planting densities. *Iranian Journal of Pulses Research*, *10*(2), 104-118. (In Persian with English Abstract). https://doi.org/10.22067/ijpr.v10i2.69397

Anwar, S., Iqbal, F., Khattak, W. A., Islam, M., Iqbal, B., & Khan, S. (2019). Response of wheat crop to humic acid and nitrogen levels. *Journal of Agricultural and Food Sciences*, *3*(1), 558-565.

Arnon, A. N. (1967). Method of extraction of chlorophyll in the plants. *Journal of Agronomy*, *23*, 112-121.

Astaraei, A. R., & Ivani, R. (2008). Effect of organic sources as foliar spray and root media on nutrition if cowpea plant. *American-Eurasian Journal of Agricultural and Environmental Sciences*, *3*(3), 352-356.

Babaei, P., Golchin, A., Besharati, H., & Afzali, M. (2012). Effect of microbial sulfur fertilizer on nutrient uptake and yield of soybean in a calcareous soil. *Iranian Journal Soil Research*, *2*(2), 145-151. (In Persian with English Abstract). https://doi.org/10.22092/IJSR.2012.126366

Bakry, B. A., Elewa, T. A., El-Karamany, M. F., Zeidan, M. S., & Tawfik, M. M. (2011). Effect of row spacing on yield and its components of some bean varieties under newly reclaimed sand soil condition. *World Journal Agricultural Sciences*, *7*(1), 68-72.

Beeh, D.F. & Leach, G.Y. (2009). Effect of plant density and raw spacing on the yield of chickpea grown on the daily downs. *Journal Agricultural*, *29*(2), 241-246.

Beheshti, S., Tadayyon, A., & Fallah, S. (2017). Effect of humic acid on the yield and yield components of Lima bean (*Phaseolus lunatus* L.) under drought stress conditions. *Iranian Journal of Pulses Research, 7*(2), 175-187. (In Persian with English Abstract). https://doi.org/10.22067/IJPR.V7I2.46533

Clarke, J. M., & Simpson, G. M. (1978). Growth analysis of *Brassica napus* cultivars. Tower. *Canadian Journal Plant Sciences*, *58*, 587-595. https://doi.org/10.4141/cjps78-092

Dadnia, M. (2017). Effect of humic acid on activity of antioxidant enzymes and yield of castor bean (*Ricinus commonis*) under water deficit condition. *Journal of Crop Ecophysiology (Agriculture Science), 11*(1), 85-98. (In Persian)

Emami Bistgani, Z., Siadat, S., Bakhshandeh, A., Khalil Alami, S., & Shirsmaoeli, G. (2014). Effect of plant density on yield, agronomic traits in new variety sunflower. *Agronomy Journal (Pajouhesh and Sazandegi), 27*(103), 69-75. (In Persian). https://doi.org/10.22092/AJ.2014.101207

Farajee, H., Gholizadeh, S., Owliaiee, H., & Azimi Gandomani, M. (2010). Effect of plant density on grain yield of three spotted bean (*Phaseolus vulgaris*) cultivars in Yasouj condition. *Iranian Journal of Pulses Research, 1*(1), 43-50. (In Persian with English Abstract). https://doi.org/10.22067/IJPR.V1I1.6338

Ganjali, A., Malekzadeh, S., & Bagheri, A. (2000). Investigating plant density and arrangement on the trend of changes in chickpea growth indicators under Faryab conditions in Neishabur region. *Journal of Agricultural Sciences and Industries*, *14*(2), 33-41. (In Persian with English Abstract)

Ghanbari, A. A., Lak, M. R., & Dari, H. R. (2005). The effect of planting date on the yield and yield components of pinto bean cultivars. The first national legume conference. November 29 and 30. 2005. Research Institute of Plant Sciences, Ferdowsi University of Mashhad, Mashhad, Iran. (In Persian with English Abstract)

Ghorbani, S., Khazaei, H. R., Kafi, M., & Banayan Aval, M. (2010). Effect of humic acid application in irrigation water on yield and yield components of corn (*Zea mays* L.). *Journal of Ecology Agricultural, 2*(1), 123-131. https://doi.org/10.22067/JAG.V2I1.7608

Haghparast, M., & Maleki Farahani, S. (2013). Effect of water deficit irrigation and natural products on vegetative characteristics of different chickpea (*Cicer arietinum*) varieties. *Iranian Journal of Pulses Research*, *4*(2), 77-86. (In Persian with English Abstract). https://doi.org/10.22067/IJPR.V1392I2.41272

Hayat, F., Arif, M., & Kakar, K. M. (2003). Effects of seed rates on mung bean varieties under dry land conditions. *International Journal of Agriculture and Biology*, *5*(1), 160-161.

Ibrahim, H.M. (2012). Response of some sunflower hybrids to different levels of plant density. *Journal of Apcbee Procedia*, *4*, 175-182.

Jadoski, S. O., Carlesso, R., Wolschick, D., Petry, T., & Frizzo, Z. (2000). Plant population and rowspacings for irrigateddry bean. II: Grainyield and yield components. *Brazil Journal of Ciencia Rural*, *l30*, 567 - 573.

Jahan, M., Sohrabi, R., Doaei, F., & Amiri, M.B. (2012). Effect of soil moisture superabsorbent hydrogel and foliar application of humic acid on some of agro-ecological characteristics of bean (*Phaseolus vulgaris*) in Mashhad. *Journal of Physiology of Crops, 2*(3), 71-90. (In Persian with English Abstract)

Kamari Shahmaleki, S., Peyvast, Q., & Olfati, J. (2010). Effects of humic acid on growth characteristics and absorption of nutrient elements of lettuce in thin layer of solution. *Journal of Horticultural Sciences, 24*(2), 149-153.

Kumar, S., Sindhu, S. S., & Kumar, R., (2022). An ecofriendly technology for nutrient recycling and environmental sustainability. *Current Research in Microbial Sciences, 3*, 100094.

Lynch, J., Lãuchli, A., & Epstein, E. (2001). Vegetative growth of the common bean in response to phosphorus nutrition. *Journal of Crop Science*, *31*, 380-387.

Majnoun Hosseini, N. (2008). Cultivation and production of legumes. University Jihad Publish, Iran. 290 p. (In Persian)

Majnoun Hosseini, N. (2014). Pulse crop agronomy and production University Jihad Publish, Iran. 283 p. (In Persian)

Majnoun Hosseini, N., Mohammadi, H., Poustini, K., & Zeinaly Khanghah, H. (2003). Effect of plant density on agronomic characteristics, chlorophyll content and stem remobilization percentage in chickpea cultivars (*Cicer arietinum* L.). *Iranian Journal of Agricultural Sciences, 34*(4), 1011-1019. (In Persian with English Abstract)

Manal, F. M., Thalooth, A. T., Amal, A. G., Magda, H. M., & Elewa, T. A. (2016). Evaluation of the effect of chemical fertilizer and humic acid on yield and yield components of wheat plants (*Triticum aestivum*) grown under newly reclaimed sandy soil. *International Journal of Chemtech Research*, *9*(8), 154-161.

Mason, S. C., & Leihner, D. E. (1986). Cassava-cowpea and cassava-peanut intercrop-pin. II. Leaf area index and dry matter accumulation. *Journal of Agronomy*, *78*, 47-53.

Mozafari, S., Khorasaninejad, S., & Gorgini Shabankareh, H. (2016). Effects of irrigation regime based on field capacity percent and humic acid on morphophysiological traits of medicinal plant (*Portulaca oleracea* L.). *Journal of Crop Production*, *9*(3), 153-175. (In Persian with English Abstract). https://doi.org/0.22069/EJCP.2016.10754.1849

Naderi, S., Pizzeghello, D., Muscolo, A., & Vianello, A. (2002). Physiological effects of humic substances on higher plants. *Journal of Soil Biology and Biochemistry*, *34*, 1527-1536. (In Persian)

Nakhyeinejad, B., & Moosavi, S. G. R. (2015). Effect of irrigation interval, humic acid and sulfur fertilizer on morphological and yield traits of fenugreek (*Trigonella foenum-gracum* L.). *Scientific Journal of Plant Ecophysiology*, *9*(30), 40-51. (In Persian with English Abstract)

Nakhzari Moghaddam, A., Parsa, N., Sabouri, H., & Bakhtiari, S. (2017). The effect of humic acid, density and supplementary irrigation on quantity and quality of local chickpea (*Cicer arietinum* L.) of Neishabur. *Journal of Environmental Stresses in Crop Sciences*, *10*(2), 183-192. (In Persian with English Abstract). https://doi.org/10.22077/escs.2017.575

Nazari Deljou, M., & Allahverdizadeh, N. (2014). Improvement of growth characteristics, yield and postharvest quality of marigold (*Calendula officinalis* Cv. Crysantha) by foliar application of humic acid. *Journal of Horticultural Science*, *28*(2), 260-268. (In Persian). https://doi.org/10.22067/JHORTS4.V0I0.20886

Piri, I., Moussavi Nik, M., Tavassoli, A., & Rastegaripour, F. (2011). Effect of irrigation intervals and sulphur fertilizer on growth analyses and yield of *Brassica juncea* L. *African Journal of Microbiology Research*, *5*, 22. 3640-3646. https://doi.org/10.5897/AJMR11.249

Saadati, J., & Baghi, M. (2014). Evaluation of the effect of various amounts of humic acid on yield, yield components and protein of chickpea cultivars (*Cicer arietinum* L.). *International Journal of Advanced Biological and Biomedical Research*, 2(7), 2306-2313.

Safaee, M., Rahimi, A., Torabi, B., & Khoram, A. (2016). Effect of vermi-compost fertilizer application and foliar spraying of compost tea and acid humic on growth indices of safflower (*Carthamus tinctorius* L.). *Journal of Agroecology*, *9*(3), 805-820. (In Persian with English Abstract). https://doi.org/10.22067/JAG.V9I3.51879

Salehi, F. (2012). Effect of plant density on seed yield and its components in new red bean lines. *Journal of Applied Crop Research*, *27*(103), 23-28. (In Persian with English Abstract). https://doi.org/10.22092/AJ.2015.101200

Saruhan, V., Kusvuran, A., & Babat, S. (2011). The effect of different humic acid fertilization on yield and yield components performances of common millet (*Panicum miliaceum* L.). *Scientific Research and Essays*, *6*(3), 663-669. https://doi.org/10.5897/sre10.1153

Siahmargue, A., Rasi Serai, M. R., & Naseri, M. Y. (2014). Effect of biological fertilizers on some forage quantity traits in millet (*Pennisetum glaucum* L.). *Journal of Iranian plant of Ecophysialogy Researches*, *9*(2), 72–81 (In Persian with English Abstract)